

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

PAT-NO: JP408226443A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08226443 A  
TITLE: SUPERCONDUCTIVE MAGNETIC BEARING  
DEVICE  
PUBN-DATE: September 3, 1996

INVENTOR-INFORMATION:  
NAME  
ITO, NORIO  
SHINOZAKI, JUNICHIRO  
IMAIIZUMI, HIROSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:  
NAME COUNTRY  
SEIKO EPSON CORP N/A

APPL-NO: JP07031031  
APPL-DATE: February 20, 1995

INT-CL (IPC): F16C032/04

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a superconductive magnetic bearing device capable of coping with high speed rotation and supporting a heavy weight by improving the mechanical strength of an annular permanent magnet, particularly a large- sized annular permanent magnet.

CONSTITUTION: In a superconductive magnetic bearing device 1 composed of a superconductor part 5 attached to one of a rotor part A and a stator part B and a magnet part 8 attached to the other, the magnet part is a

integral annular  
magnet structure having a plurality of annular magnets  
manufactured by hot  
bending work and attached circumferentially adjacent to  
each other in  
combination, and further a reinforcing member 6 is disposed  
on the outer  
periphery of the magnet part.

COPYRIGHT: (C)1996, JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-226443

(43)公開日 平成8年(1996)9月3日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
F 16 C 32/04

識別記号  
ZAA

府内整理番号  
F 16 C 32/04

F I  
ZAAZ

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全11頁)

(21)出願番号 特願平7-31031  
(22)出願日 平成7年(1995)2月20日

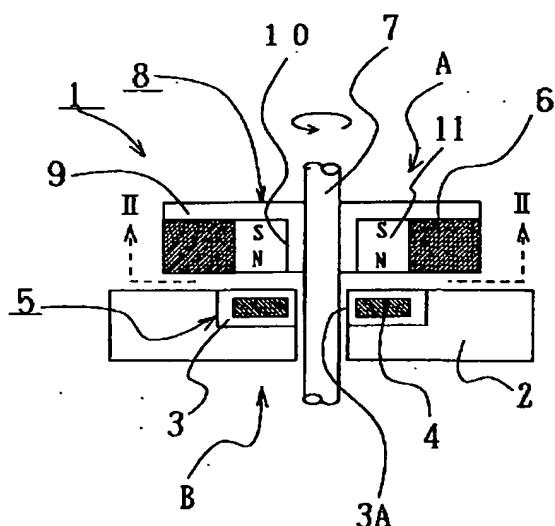
(71)出願人 000002369  
セイコーエプソン株式会社  
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号  
(72)発明者 伊東 紀夫  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
(72)発明者 鶴崎 順一郎  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
(72)発明者 今泉 寛  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
(74)代理人 弁理士 鈴木 喜三郎 (外1名)

(54)【発明の名称】 超電導磁気軸受装置

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 環状永久磁石、とりわけ大型環状永久磁石の機械強度を向上して、高速回転に適応可能な、大重量物を支えることができる超電導磁気軸受装置を提供する。

【構成】 回転体部A及び固定体部Bの一方に装着される超電導体部5と他方に装着される磁石部8とを備えて構成された超電導磁気軸受装置1において、前記磁石部は熱間で曲げ加工により製造した円弧状磁石を複数個組み合わせて、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造をなし、更に前記磁石部の外周に強化部材6を配した超電導磁気軸受装置。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造した円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造をなし、更に前記磁石部の外周に強化部材を配したことを特徴とする超電導磁気軸受装置。

【請求項2】 回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造した複数の円弧状磁石と、前記円弧状磁石の外周部に外接する環状部材から形成されており、前記環状部材の内側に前記円弧状磁石を環状に配置するとともに、前記環状部材と前記環状磁石と接着された一体環状磁石構造としたことを特徴とする超電導磁気軸受装置。

【請求項3】 前記環状部材の熱膨張係数は前記円弧状磁石の熱膨張係数よりも低いことを特徴とする請求項2記載の超電導磁気軸受装置。

【請求項4】 前記磁石部は異径の複数の一体環状磁石からなり、前記複数の一体環状磁石は前記回転体部の軸心を同心とする多重化構造により形成されていることを特徴とする請求項1及び2記載の超電導磁気軸受装置。

【請求項5】 回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造して、径方向に磁気異方性を与えた円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造であり、前記一体環状磁石として、径方向に同極が対向するように着磁された少なくとも異径の2以上の一體環状磁石を配置し、径方向に隣接する環状磁石の間に環状部材を設け、前記磁石部の外周に強化部材を配したことを特徴とする超電導磁気軸受装置。

【請求項6】 回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石

を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造して、径方向に磁気異方性を与えた円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造であり、前記一体環状磁石として、径方向に同極が対向するように着磁された少なくとも異径の2以上の一體環状磁石を配置し、径方向に隣接する環状磁石の間に環状部材を設け、前記環状部材は2重に径方向に重ねられた構造をなし、前記磁石部の外周に強化部材を配したことを特徴とする超電導磁気軸受装置。

【請求項7】 回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成され、前記環状磁石と前記超電導体部とが、前記回転体部の半径方向で間隔を設けて向き合うように配設される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造した円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造であり、前記一体環状磁石として、同径の軸方向に同極が対向するように着磁された少なくとも2以上の一體環状磁石を配置し、軸方向に隣接する一体環状磁石の間に環状部材を設けたことを特徴とする超電導磁気軸受装置。

【請求項8】 前記磁石部は前記一体環状磁石構造を形成した後、着磁することを特徴とする請求項1乃至7記載の超電導磁気軸受装置。

【請求項9】 前記円弧状磁石同士の接着部の機械強度は前記円弧状磁石単体と同等であることを特徴とする請求項1、5、6及び7記載の超電導磁気軸受装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば、高速回転を必要とする流体機械や工作機械、余剰電力をフライホイールの運動エネルギーに変換して貯蔵する電力貯蔵装置等に用いられる超電導体を利用した超電導軸受装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、超電導体を利用して、回転体（回転軸）を非接触状態で軸支することにより高速回転を可能とした超電導磁気軸受装置が開発されている。超電導磁気軸受装置の基本構造は、例えば特開平5-180225に示されるように、環状の永久磁石を埋設した回転体が、固定部となる超電導体とピン止め力により空間固定され、回転軸を中心に回転するのが一般的である。また、超電導体と永久磁石のピン止め力を利用した超電導磁気軸受装置は、大きな載荷力を発生する特徴も有し、その特徴を生かしてフライホイールの様な重量物を高速に回転させて、フライホイールの運動エネルギーとし

て、電力を貯蔵するエネルギー密度の大きな電力貯蔵装置への応用が考えられている。電力貯蔵を目的とした、フライホイール搭載型の超電導磁気軸受装置は、例えば平成4年電気学会全国大会8-134頁の8MWH級高温超電導浮上式フライホイール電力貯蔵システムの概念設計のなかで、材料にCFRPを使用した場合、フライホイール部は直径6.7m、重量103トンに及ぶことが報告されている。その際、使用する永久磁石は、少なくとも直径数mにおよぶ大口径磁石が必要とされるが、大きな永久磁石製造は困難であるため、磁石を分割して組み立てる必要があり、幾つかの例が示されていた。

(例えば、特開平6-2646)

一方、フライホイール電力貯蔵装置において、大重量フライホイールを支えるために、超電導磁気軸受装置には大きな載荷力が、かかることになる。超電導体と永久磁石を使用した超電導磁気軸受装置の載荷力は永久磁石の発生する磁場勾配と超電導体の磁化モーメントの大きさに比例する。そこで、永久磁石の磁束の反発を利用して永久磁石の磁場勾配を大きくする提案が例えば特開平6-42532の図32に示されていた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記公報記載の従来技術では以下のような課題を抱えていた。

【0004】フライホイール電力貯蔵装置に使用されるような、超電導磁気軸受には、大口径磁石が必要とされることは勿論であるが、電力貯蔵装置としてのエネルギー密度を高めるために、高速回転に耐える回転機械強度の大きな大口径永久磁石が必要とされる。即ち、フライホイール本体は、例えばCFRPのような高強度な材料を使用すれば、高速に回転させることは可能であるが、その場合、フライホイールとともに回転する永久磁石にもCFRPと同等の機械強度が要求されることになる。ところが、一般的に永久磁石材料の機械強度は非常に弱い。例えば高性能磁石として代表的なNd-Fe-B系や、Sm-Co系の焼結磁石の単位平方mm当たりの引張強度は、数kg程度であるのに対してCFRP材料の強度は数100kgに達するものもあり、比較にならないほど両者の機械強度には差がある。従って、フライホイール材料に高強度材料を使用したとしても、永久磁石の機械強度を上げない限り、回転数は永久磁石の強度限界により低く抑えなければならないことになる。仮に、回転中に磁石の亀裂等が生じた場合、磁石部の飛散が生ずる前に、回転体としてのダイナミックバランスが崩れ、極めて危険な状態となる。また、特開平6-2646において示されているように、あらかじめ分割した磁石を組み合わせた場合、回転により分割した磁石間に隙間が生じ、前述同様、回転体としてのダイナミックバランスが崩れ、極めて不安定となる。磁石間に隙間が生じないように、磁石同士を接着剤を使用した場合、その接着強度は使用する接着剤によって決定されてしまう。一

般的に接着剤は樹脂系のものが多用され、その接着強度は前述の焼結法で製造された、永久磁石同様、単位平方mm当たり数kg程度であり、CFRPのような材料に比べると2桁以上小さくなる。以上のように、永久磁石の強度限界により、超電導磁気軸受装置の回転数限界が決定してしまうことになる。

【0005】一方、特開平6-42532の図32に示された例のように、載荷力の増強を目指して磁場強度及び磁場勾配を大きくした磁気回路では、磁石の着磁方向を半径方向に着磁する、いわゆるラジアル着磁が必要となる。ところが、半径方向に着磁された大型の環状永久磁石を得ることは困難であることが一般的に知られている。それは、焼結方法にて製造されるNd-Fe-B、Sm-Co系等の異方性磁石では、磁気異方性を与るために、磁場中プレスを行う必要があるが、プレス機と配向磁場を与えるためのコイルヨークとは配置上、大型化が非常に困難となる。また、円弧状または環状磁石に對して径方向に異方性を与えるためには、点配向した磁場が必要となり、さらに困難性が高まる。また、着磁工程においても例えば直径1m以上の環状磁石の着磁を行うことは極めて困難である。従って特開平6-42532の図32に示されるような磁気回路は細かく円弧状に加工した後、着磁を行った磁石片を環状に組立る方法がとられていた。しかし、着磁された磁石を密に並べることは、磁石間に働く吸引反発力により、極めて難しく、組み立て用に治具等を使用したとしても、磁石間に隙間や段差が生じてしまう。超電導磁気軸受装置において永久磁石の機械的精度は軸受けの振動、損失の原因となり、高速回転を行うことは不可能となる。また、このようにして製造された、環状永久磁石は完全な点配向がなされていないため、前記環状永久磁石の表面磁束密度には大きなムラが生じ、大きな回転損失を生むことになる。

【0006】そこで、本発明の目的とするところは、フライホイールのような大重量物を、高速で安定に回転させることができる超電導磁気軸受装置を、実現するところにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため40に、本願第1請求項に係る超電導磁気軸受装置は、回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を中心とする環状磁石を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造した円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造をなし、更に前記磁石部の外周に強化部材を配した構成となっている。

【0008】本願第2請求項に係る超電導磁気軸受装置は、回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造した複数の円弧状磁石と、前記円弧状磁石の外周部に外接する環状部材から形成されており、前記環状部材の内側に前記円弧状磁石を環状に配置するとともに、前記環状部材と前記環状磁石と接着された一体環状磁石構造となっている。

【0009】本願第3請求項に係る超電導磁気軸受装置は、前記環状部材の熱膨張係数は前記円弧状磁石の熱膨張係数よりも低い。

【0010】本願第4請求項に係る超電導磁気軸受装置は、前記磁石部は異径の複数の一体環状磁石からなり、前記複数の一体環状磁石は前記回転体部の軸心を同心とする多重化構造により形成されている。

【0011】本願第5請求項に係る超電導磁気軸受装置は、回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造して、径方向に磁気異方性を与えた円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造であり、前記一体環状磁石として、径方向に同極が対向するように着磁された少なくとも異径の2以上の一體環状磁石を配置し、径方向に隣接する環状磁石の間に環状部材を設け、前記磁石部の外周に強化部材を配した構成となっている。

【0012】本願第6請求項に係る超電導磁気軸受装置は、回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造して、径方向に磁気異方性を与えた円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造であり、前記一体環状磁石として、径方向に同極が対向するように着磁された少なくとも異径の2以上の一體環状磁石を配置し、径方向に隣接する環状磁石の間に環状部材を設け、前記環状部材は2重に径方向に重ねられた構造をなし、前記磁石部の外周に強化部材を配した構成となっている。

【0013】本願第7請求項に係る超電導磁気軸受装置は、回転体部及び固定体部の一方に装着される超電導体部と他方に装着される磁石部とを備え、前記超電導体部は、前記磁石部との間に復元力を有する超電導体と、この超電導体を支持する支持体とから構成され、前記磁石部は回転体部の軸心を同心とする環状磁石を備えて構成され、前記環状磁石と前記超電導体部とが、前記回転体部の半径方向で間隔を設けて向き合うように配設される形式の超電導磁気軸受装置において、前記磁石部は、熱間で曲げ加工により製造した円弧状磁石を複数個組み合わせ、周方向に隣り合う前記円弧状磁石同士を接着した一体環状磁石構造であり、前記一体環状磁石として、同径の軸方向に同極が対向するように着磁された少なくとも2以上の一體環状磁石を配置し、軸方向に隣接する一体環状磁石の間に環状部材を設けた構成となっている。

【0014】本願第8請求項に係る超電導磁気軸受装置は、前記磁石部は前記一体環状磁石構造を形成した後、着磁をされる。

【0015】本願第9請求項に係る超電導磁気軸受装置は、前記円弧状磁石同士の接着部の機械強度は前記円弧状磁石単体と同等である構成となっている。

#### 【0016】

##### 【実施例】

(実施例1) 図1は超電導軸受装置の主要部を示す縦断図面であり、この超電導軸受装置1は図示しないハウジング内に設けられている。即ち、ハウジング内には、ハウジングに支持固定された冷却ケース2が設けられ、この冷却ケース2の内側には円盤状の支持体3が固定されている。この支持体3は、銅または他の金属材料により形成されており、支持体3内には超電導体4が環状に埋設され、支持体3と超電導体4とにより超電導体部5を構成している。この実施例では超電導体部5が固定体部Bに、後述する磁石部8が回転体部Aに、それぞれ設けられている。前記超電導体4は、イットリウム系高温超電導体、例えば、 $YBa_2Cu_3O_x$ からなる基板の内部に常電導粒子 $Y_2Ba_1Cu_1$ を均一に混在させたものからなり、後述する環状永久磁石11が発生する磁束侵入を拘束する性質を有する。超電導体4と環状永久磁石11の軸方向の幅は、略等しく設定されている。更に、超電導体4は、後述する環状永久磁石11と対面し、この環状永久磁石11からの磁束が所定量侵入する位置において、後述の回転体7の回転により侵入磁束の分布が変化しない位置で、離間して配置されている。このような超電導軸受装置1においては、超電導体4が冷却ケース2内の循環冷媒により冷却され、超電導状態に保持される。そして超電導状態では、回転体7の環状永久磁石11からの磁束が超電導体4内部に侵入し、超電導体4内部では、均一に混在された常電導粒子により超電導体4内部の侵入磁束分布が一定となり、超電導体4に立設した仮想ピンに回転体7の環状永久磁石11が貫かれた

40

44

48

52

ように、回転体7が環状永久磁石11とともに超電導体4に拘束された状態（ピンニング現象）で、環状永久磁石11が回転する。また、ハウジング内には、回転体（実施例では回転軸）7が垂直方向に配置され、下端側が上記挿通穴3Aに挿通され、上端側には磁石部（実施例では永久磁石部）8が設けられている。この磁石部8を前記回転体7に固定することにより回転部Aを構成している。

【0017】磁石部8はこの実施例では、磁石固定部9と環状永久磁石11と強化部材6から構成されている。環状永久磁石11は、例えばチタン等の非磁性の強化材料からなる磁石固定部9の円筒部10に圧入、冷やしバメ、焼きバメ等の隙間を生じない固定方法または、隙間バメによって固定されている。更に、上記環状永久磁石11は、図2に示すように、複数（本実施例では4分割）の円弧状磁石片12、12…を周方向（円周に沿う方向）に順次接着することにより構成されている。本実施例では、円弧状磁石片12、12…はPr-Fe-B-Cuを基本組成とした鋳造インゴットを熱間圧延により磁気異方性を与える、更に不活性ガス中にて、加熱した後、円弧状に曲げ加工が施された永久磁石を使用した。前記熱間圧延加工方法による前記永久磁石の機械強度はその加工方法故、他の焼結磁石等に較べて、3倍以上強く、曲げ加工がされた、前記円弧状磁石片12、12…同士は不活性ガス中で加熱することにより、溶融してしみだした粒界相により、他の接着材料を用いずに接着されている。従って前記円弧状磁石片12、12…同士の接着面の強度は、円弧状磁石片12、12…の他の部分と差はないものである。このようにして製造された環状永久磁石11は、例えばCFRP等の強化材料からなる強化部材6によって外圧力をかけ締め上げられ、高速回転に耐え得る磁石部8を形成している。環状永久磁石11に対して強化部材6によって外圧力をかけて強化する方法は、強化部材6に高張力鋼のような金属材料を使用した場合は圧入が最適であり、CFRPからなる強化部材6を用いた場合は上記同様、圧入するか、または炭素入りの繊維を圧力をかけながら環状永久磁石11を巻き上げ、強化部材6を形成する方法がある。この時の強化部材6による外圧力は、環状永久磁石11の最大圧縮強度以下に設定される必要がある。強化部材6を用いて環状永久磁石11の外圧力をかけることにより、回転体7の回転限界が高まることになり、高速回転化が可能となる。

【0018】環状永久磁石11の着磁方向は図1に示すように、軸方向に向いている。本実施例において、着磁工程は環状永久磁石11の製造工程の中で、円弧状磁石片12、12…を相互に接着して、一体化した後、実施する。着磁工程では環状永久磁石11に大きな力が働くが、環状永久磁石11は接着された部分と他の部分とに強度面で差がなく、安定した磁石部8を構成してい

る。本実施例に使用した、Pr-Fe-B-Cu系の熱間圧延加工方法による永久磁石は、機械的強度に優れており、前述の説明の通り曲げ加工方法、粒界相による接着工程を経た後にも、その強度に劣化を生じないため、本実施例に使用する磁石としては最適なものであるが、前記加工方法が可能な永久磁石ならば、全て同様な効果が期待できる。

【0019】また、円弧状磁石片12、12…相互の接着工程において、本実施例では不活性ガス中にて加熱しながら実施したが、接着面をプラズマ処理等により活性化することで常温においても、強固に接合することができる。

【0020】更に本実施例で強化部材6により、環状永久磁石11を締め上げる方法を提示したが、このような工法が可能なのも熱間圧延加工方法、曲げ加工、粒界相による接着という工程を経た高強度な環状永久磁石11故に可能な方法である。もし、分割して接着剤等を使用した永久磁石では、加工精度に限界があるために、少なからず永久磁石間に隙間が生じ、応力集中を起こすために、外圧力をかけた強化部材による締め上げは困難となる。

【0021】尚、前記実施例において超電導体4の冷却に支持体3による間接冷却方法を使用した例を示すが、冷却効率を高めるために支持体3を中空として、内部に液体窒素等の冷媒を流しても良い。その場合は支持体3は外部への熱的な漏洩を防ぐために、熱電導の低い材料を使用するのが望ましい。

【0022】（実施例2）次に第2実施例を説明する。尚、以下の各実施例では、前記第1実施例と共通する構成については同一符号を付して説明を省略し、実施構成の要点について説明する。図3に本実施例の超電導磁気軸受装置の主要部を、図3のI-I-I矢視図を図4に示す。本実施例の磁石部8は、実施例1同様、4分割された円弧状磁石片12、12…からなる環状永久磁石11、環状部材13、強化部材6と磁石固定部9から構成されている。円弧状磁石片12、12…は、実施例1で説明した磁石と同じくPr-Fe-B-Cuを基本組成とした鋳造インゴットを熱間圧延により磁気異方性を与える、更に不活性ガス中にて、加熱した後、円弧状に曲げ加工が施された永久磁石を使用した。前記熱間圧延加工方法による前記永久磁石はその加工方法故、他の焼結磁石等に較べて、3倍以上強い。曲げ加工がされた、前記円弧状磁石片12、12…は金属材料からなる環状部材13の内側に円弧面が接するように環状に並べ、不活性ガス中にて加熱することにより、溶融してしみだした粒界相により、環状部材13と接着した。前記円弧状磁石片12、12…と環状部材13の接着面の強度は、高く、磁石部8の高速回転化を可能としている。

【0023】このようにして製造された環状永久磁石1

1は、例えばC F R P等の強化材料からなる強化部材6によって外圧力をかけ締め上げることにより、強度は更に高まり、更なる高速回転化が可能となる。

【0024】環状部材6と円弧状磁石片12、12···の接着工程において、環状部材6に使用する材料の熱膨張係数を環状永久磁石11よりも低くすることによって、接着性をより向上することが可能である。接着工程は、高温で粒界相が溶融することを利用して行われるために、粒界相の融点以上の温度が必要となる。本実施例で使用したP r - F e - B - C u系を含むR - F e - B磁石合金は強磁性体の特徴としてキュリー温度まで体積変化は殆どないが、粒界相融点を越えると熱膨張係数は著しく高くなる。環状永久磁石11の外周部に配置された環状部材6の熱膨張が環状永久磁石11よりも小さければ、円弧状磁石片12、12···の接触界面に圧力が発生し、液相による接着が効果的に行われる。環状部材6としては熱膨張係数が低いという点で、耐熱鋼、M o合金、セラミックス等が望ましい。環状部材6にしようする材料の熱膨張係数が低いほど、接触面に発生する力が大きく、圧接の効果が高い。また、環状部材6には低炭素鋼を使用し、低炭素鋼が高温下にて起こす $\alpha$ - $\gamma$ 変態による、急激な熱膨張係数の変化を利用する方法も有効である。更に、環状部材6にはインバー合金を用いることによって、寸法の高精度化を図るとともに、冷却時に発生する割れの危険性を低減することができる。

【0025】永久磁石円弧状磁石片12、12···と環状部材6との接着工程において、本実施例では不活性ガス中にて加熱しながら実施する方法を中心にしてきたが、接着面をプラズマ処理等により活性化することで常温においても、強固に接合することができる。

【0026】環状永久磁石11の着磁方向は図3に示すように、軸方向に向いている。本実施例において、着磁工程は環状永久磁石11の製造工程の中で、円弧状磁石片12、12···と環状部材6を接着して、一体化した後、実施する。着磁工程では環状永久磁石11に大きな力が働くが、環状永久磁石11は環状部材6に対して高強度に接着されているため、安定した磁石部8を構成している。

【0027】(実施例3) 次に、環状永久磁石を多重化した例を示す。図5は、円弧状磁石片の相互接着によって一体化した環状永久磁石を、多重化したときの磁石部の断面図を示す。実施例1に示したように、環状永久磁石11A、11B、11C、11Dは、各々4分割された円弧状磁石片が粒界相により相互に接着され、回転体7(実施例では回転軸)を中心に、同心状に多重化した構造からなる。環状永久磁石11A、11B、11C、11Dの間に挿入されている環状部材13A、13B、13Cは、非磁性材料からなり、回転強度向上に対する強化策になるとともに、各々の環状永久磁石の磁気的短絡を防ぐ役割を果たす。環状永久磁石11A、11B、11C、11Dの着磁方向は図6に示すように、軸方向に向き、隣合う各前記環状永久磁石は異極となるように配置されている。着磁工程は環状永久磁石11A、11B、11C、11Dの製造工程の中で、円弧状磁石片を相互に接着して、一体化した後、環状永久磁石11A、11B、11C、11Dを各々着磁する。その上で、環状永久磁石11A、11B、11C、11Dを順次多重化組立する。着磁工程と多重化組立工程では、環状永久磁石11A、11B、11C、11Dに大きな力が働くが、環状永久磁石11A、11B、11C、11Dは接着された部分と他の部分とに強度面で差がなく、磁石部8に対する損傷はない。

【0028】このようにして製造された環状永久磁石11は、例えばC F R P等の強化材料からなる強化部材6によって、外周部より外圧力をかけ締め上げることにより、強度は更に高まり、更なる高速回転化が可能となる。

【0029】(実施例4) 次に円弧状磁石片を環状部材20に接着して一体化した環状永久磁石を、多重化した例を示す。図6は本実施例の磁石部の断面図を示す。環状永久磁石11Aは、4分割された円弧状磁石片からなり、環状部材13Aに対して、粒界相により接着されている。同様に環状永久磁石13Bは環状部材13Bに、環状永久磁石13Cは環状部材13Cに、更に、環状永久磁石13Dは環状部材13Dに各々粒界相による接着がされている。接着された前記各環状永久磁石は回転体7(実施例では回転軸)を中心に、同心状に多重化した構造からなる。環状部材13A、13B、13C、13D

30は、非磁性材料からなり、回転強度向上に対する強化策になるとともに、各々の前記環状永久磁石の磁気的短絡を防ぐ役割を果たす。環状永久磁石11A、11B、11C、11Dの着磁方向は図6に示すように、軸方向に向き、隣合う各前記環状永久磁石は異極となるように配置されている。着磁工程は環状永久磁石11A、11B、11C、11Dの製造工程の中で、円弧状磁石片を環状部材13A、13B、13C、13Dに接着して、一体化した後、環状永久磁石11A、11B、11C、11Dを各々着磁する。その上で、環状永久磁石11

40A、11B、11C、11Dを順次多重化組立する。

【0030】また、実施例2の中で説明した内容と同様に、環状部材に使用する材料は、前記環状永久磁石の熱膨張係数よりも低いものを選定することで、接着工程をより確実なものにできるが、隣り合う前記環状永久磁石の磁気的短絡を防ぐためには、非磁性材料にする必要がある。

【0031】このようにして製造された環状永久磁石11は、例えばC F R P等の強化材料からなる強化部材6によって、外周部より外圧力をかけ締め上げることにより、強度は更に高まり、更なる高速回転化が可能とな

11

る。

【0032】(実施例5) 本実施例は、互いに隣接し径方向に着磁された環状永久磁石11A、11Bを用いて磁場強度の向上を図るとともに、回転強度の向上を図ったものである。即ち、図7に示すように、互いに径が異なり、それぞれ径方向に磁気異方性を与え、着磁された環状永久磁石11A、11Bの間に磁性体からなる環状部材13を挟んで配置した構造となっている。また、内周側の環状永久磁石11Aと外周側の環状永久磁石11Bとは環状部材13を挟んで同極が向き合っている。このような構造においては、環状永久磁石11A、11BのN極からの磁束は、磁性体からなる環状部材13を通り、環状永久磁石11A、11Bの表面に現れて各々の環状永久磁石11A、11BのS極に戻る。この際、各環状永久磁石11からの磁束は環状部材により絞られるため、環状永久磁石11A、11Bの表面磁束密度は大幅に向上する。

【0033】各環状永久磁石11A、11Bの製造方法は、実施例1にて説明方法と同様で、複数(本実施例では4分割)の円弧状磁石片を周方向(円周に沿う方向)に順次接着することにより構成されている。本実施例では、前記円弧状磁石片はPr-Fe-B-Cuを基本組成とした鋳造インゴットを熱間圧延により磁気異方性を与え、更に不活性ガス中にて、加熱した後、円弧状に曲げ加工が施された永久磁石を使用した。ここで磁気異方性の方向は、曲げ加工する方向に設定することにより、曲げ加工後、図8に示すように円弧状磁石片12の円弧の径方向(矢印方向)に与えられる。従って、図9に示すように、円弧状磁石片12、12···を4つ使用して環状に形成した環状永久磁石11は、中心部に向けて磁気異方性を持ったいわゆるラジアル異方性磁石となる。前記熱間圧延加工方法による前記永久磁石はその加工方法故、他の焼結磁石等に較べて、3倍以上強く、曲げ加工がされた、前記円弧状磁石片12、12···同士は不活性ガス中で加熱することにより、溶融してしみだした粒界相により、他の接着材料を用いずに接着されている。本実施例において、着磁工程は環状永久磁石11A、11Bの製造工程の中で、円弧状磁石片12、12···を相互に接着して、一体化した後、環状永久磁石11A、11B各々独立に実施する。着磁された環状永久磁石11A、11B間に大きな反発力が働くため、環状部材13を挟んで組立を行う際、大きな加圧力を必要とするが、環状永久磁石11A、11Bは接着された部分と他の部分とに強度面で差がなく高強度な環状永久磁石11A、11Bを形成しているために損傷することはない。

【0034】(実施例6) また、環状部材を環状永久磁石の内外径に配置することによって、更に組立性を向上することも可能である。図10に示すように、環状永久磁石11Aの内外径部には、磁性体からなる環状部材1

12

3A、13Bが接着されている。同様に環状永久磁石11Bの内外径部には環状部材13C、13Dが、環状永久磁石11Cの内外径部には環状部材13E、13Fが、更に環状永久磁石11Dの内外径部には13G、13Hが接着されている。隣接する各環状永久磁石11A、11B、11C、11Dの着磁方向は径方向に同極に対向するようになされており、通常、実施例5に示したように各環状永久磁石間には大きな反発力が働くことになるが、本実施例では、環状部材13A~13Hによって、反発力が緩和される効果を持つため、容易に多重化組立を行うことができる。例えば最内周の環状永久磁石11Aと2番目の環状永久磁石11Bを組み立てる場合、最初に環状永久磁石11Aを磁石固定部9の円筒部10に圧入方法等により、固定した上で、環状永久磁石11Bを環状永久磁石11Aの外周部に挿入する。その際、各々の環状永久磁石11A、11Bの接触面に配された環状部材13B、13Cにより磁束の流れが容易となり、吸引反発力が軽減され、組立作業は容易となる。フライホイールのような大重量物を支える大口径永久磁石の吸引反発力は、巨大なものとなり、組立作業を容易にすることは極めて重要な効果であるといえる。

【0035】(実施例7) 以上の実施例は全て回転軸方向に超電導体部と永久磁石部が対向した通称アキシャル型超電導磁気軸受の例であったが、本発明は径方向に超電導体部と対向したいわゆるラジアル型超電導磁気軸受の例を示す。

【0036】図11に、回転体7が超電導体部5の外側に配置された外転型の超電導軸受装置の主要部の縦断面図を示す。図11において図示されないハウジング内に固定部となる支持体3と回転体7に納められており、支持体3には超電導体4が配置され、磁石部8は2つの環状永久磁石11A、11Bと磁性体からなる環状部材13により構成されている。磁気的な作用は、前述の実施例6同様であり、環状永久磁石11A、11Bから発せられた磁束が、環状部材13により絞られて磁束密度を高め、超電導体4に対して一部入り込み大きなピン止め力を生じさせる。大口径の軸受を構成する必要がある場合や、外径より回転出力を取り出すような用途には図11による構成が好適である。

【0037】更に、上記環状永久磁石11A、11Bは、実施例1同様、複数(本実施例では4分割)の円弧状磁石片を周方向(円周に沿う方向)に順次接着することにより構成されている。前記円弧状磁石片はPr-Fe-B-Cuを基本組成とした鋳造インゴットを熱間圧延により磁気異方性を与え、更に不活性ガス中にて、加熱した後、円弧状に曲げ加工が施された永久磁石を使用した。前記熱間圧延加工方法による前記永久磁石はその加工方法故、他の焼結磁石等に較べて、3倍以上強く、曲げ加工がされた、前記円弧状磁石片同士は不活性ガス中にて加熱することにより、溶融してしみだした粒界相に

より、他の接着材料を用いずに接着されている。このようにして製造された環状永久磁石11A、11Bは、例えばC F R P等の強化材料からなる強化部材6によって外圧力をかけ締め上げられ、高速回転に耐え得る磁石部8を形成している。

【0038】環状永久磁石11の着磁方向は図11に示すように、軸方向に向いている。本実施例において、着磁工程は環状永久磁石11A、11Bの製造工程の中で、前記円弧状磁石片を相互に接着して、一体化してた後、実施する。着磁工程や着磁後の組立工程では環状永久磁石11A、11Bに大きな力が働くが、環状永久磁石11は接着された部分と他の部分とに強度面で差がなく、環状永久磁石11A、11Bに対して損傷を与えることはない。本実施例に使用した、 $Pr - Fe - B - Cu$ 系の熱間圧延加工方法による永久磁石は、機械的強度に優れており、前述の説明の通り曲げ加工方法、粒界相による接着工程を経た後にも、その強度に劣化を生じないため、本実施例に使用する磁石としては最適なものであるが、前記加工方法が可能な永久磁石ならば、全て同様な効果が期待できる。

【0039】本実施例の構成では、軸受として重要な要素となるラジアル剛性を向上することが可能となることに加えて、軸受の載荷力を大きくすることができる。即ち、軸受の外径状が半径方向に大きくできないような形状的制約を受けた場合、前記環状永久磁石を軸方向に積層していくば、外径状を変えずに載荷力を大きくすることができる。それにより、高速回転化と高載荷力化が必要なフライホイール用超電導磁気軸受装置には極めて有効となる。

【0040】尚、前述までの実施例1乃至7において、超電導軸受装置は超電導体部5が固定体部Bに、磁石部8が回転体部Aに、それぞれ設けられている構造について説明したが、本発明は、逆に超電導体部5が回転体部Aに、磁石部8が固定体部Bに、それぞれ設けられる構造であっても同様な作用効果を奏することができるものである。また、磁石には $Pr - Fe - B - Cu$ 系磁石を使用した例を示したが、本発明はこれに限らず、フェライト、アルニコ、或はネオジウム系、サマリウム系等、他の全ての永久磁石を使用することができることは勿論であり、更に電磁石、超電導コイル等、磁束を発生するもの全て適用可能であり、加えて、ピンニング効果により磁束が封じ込められたいわば超電導体そのものを、固定体部、固定体部に設置する磁石として使用することもできるものである。更に、超電導体についてもイットリウム高温超電導体を例に示してきたが、磁石との間で復原力をもつ事のできる、例えば希土類系の元素を含む

( $RE - Ba - Cu - O$ )系等全ての超電導体が適用可能である。ここで、REはY、Sm、Eu、Nd、Dy、Ho、Er、Ybからなる元素群から選ばれた1又は2以上の元素を表す。

## 【0041】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように、この種の超電導磁気軸受装置において円弧状磁石同士を接着して一体環状永久磁石を形成した上で着磁して外周部より強化部材により外圧力をかけて強化するために高速回転化が可能となる。また、円弧状磁石を環状部材に接着して一体環状磁石を形成するため、更なる回転強度の向上が図れる。更に前記環状部材に前記円弧状磁石より熱膨張係数の低い材料を使用することにより、前記環状部材と前記円弧状磁石の接着性をより向上でき高速回転化が可能となる。また、前記一体環状磁石を多層化する際、一体環状磁石として、組立性を良好なものとした。また、径方向に曲げ加工を行い、ラジアル磁気異方性磁石を使用することにより、高磁場強度で、高機械強度な回転体を実現することができる。更にラジアル磁気異方性磁石の内外径に環状磁性体を接着することによって、多重化組立工程が容易となる。更にラジアル軸受構成とすることで高剛性化を図ることができる。

【0042】即ち、高速回転を必要とする流体機械や工作機械、余剰電力をフライホイールの運動エネルギーに変換して貯蔵する電力貯蔵装置、とりわけ載荷力を要求される大型のシステムに適用することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例に係わり、超電導磁気軸受装置の主要部を示す図2中のI—I矢視断面図。

【図2】 本発明の第1実施例に係わり、永久磁石部の底面を示す図1中のI—I—I—I矢視図。

【図3】 本発明の第2実施例に係わり、超電導磁気軸受装置の主要部を示す図4中のI—I矢視断面図。

【図4】 本発明の第2実施例に係わり、永久磁石部の底面を示す図3中のI—I—I—I矢視図。

【図5】 本発明の第3実施例に係わり、永久磁石部の主要部を示す縦断面図。

【図6】 本発明の第4実施例に係わり、永久磁石部の主要部を示す縦断面図。

【図7】 本発明の第5実施例に係わり、永久磁石部の主要部を示す縦断面図。

【図8】 本発明の第5実施例に係わり、円弧状磁石片の射視図。

【図9】 本発明の第5実施例に係わり、図8の円弧状磁石を環状にした射視図。

【図10】 本発明の第6実施例に係わり、永久磁石部の主要部を示す縦断面図。

【図11】 本発明の第7実施例に係わり、超電導軸受装置の主要部の縦断面図。

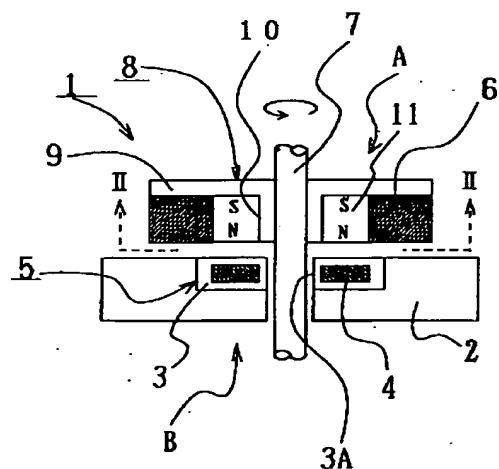
## 【符号の説明】

1	超電導軸受装置
2	冷却ケース
3	支持体
4	超電導体

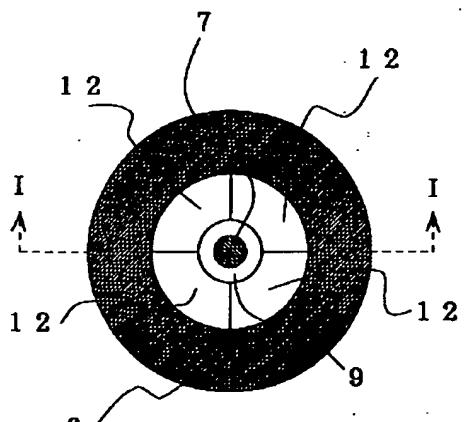
15  
 5 超電導体部  
 6 強化部材  
 7 回転体  
 8 磁石部  
 9 磁石固定部  
 10 円筒部  
 11、11A、11B、11C、11D 環状永久

16  
 磁石  
 12 円弧状磁石片  
 13、13A、13B、13C、13D、13E、13F、13G、13H 環状磁性体  
 A 回転体部  
 B 固定体部

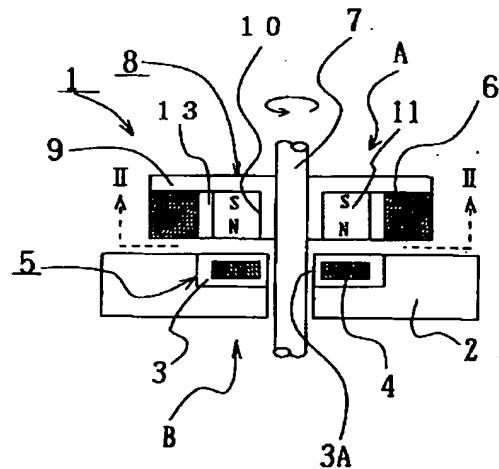
【図1】



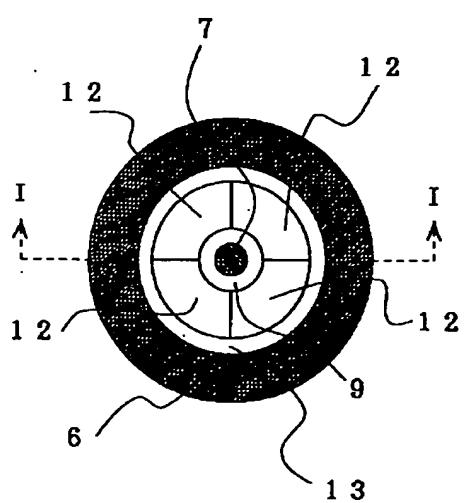
【図2】



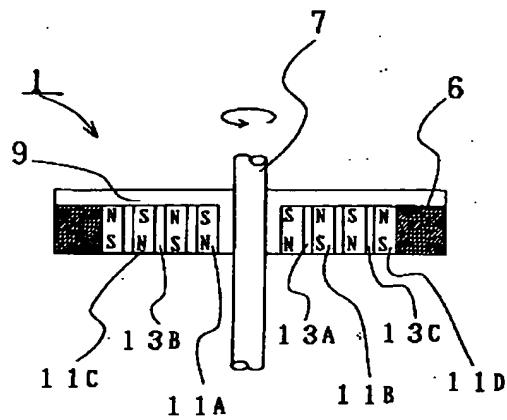
【図3】



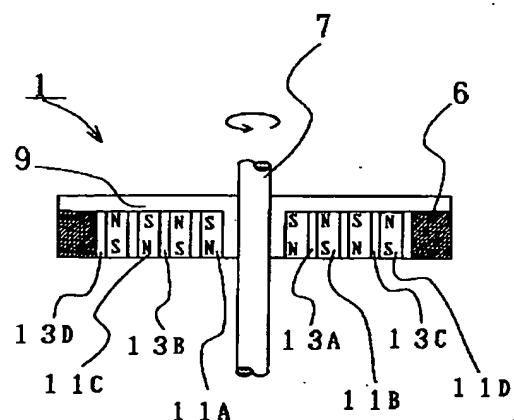
【図4】



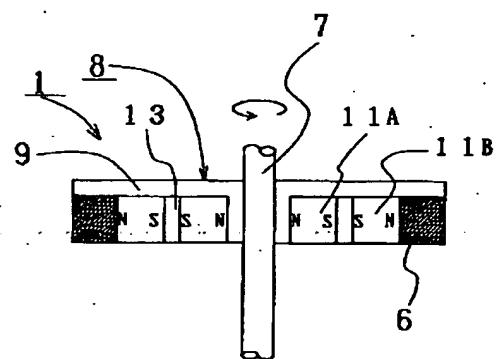
【図5】



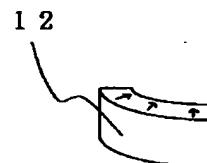
【図6】



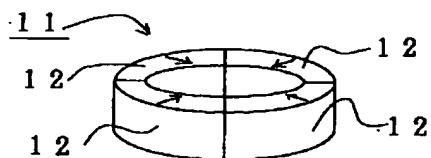
【図7】



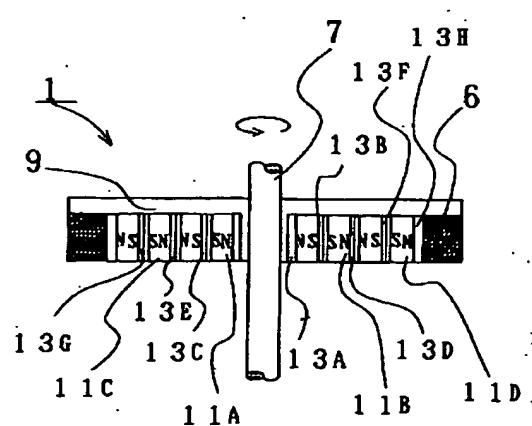
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

